鋼橋支承ソールプレート溶接部の応力性状とピーニング処理に対する考察

中日本高速道路　正会員　○丸山　健太郎　竹内　彰隆　畔柳　昌己
三菱重工鉄構エンジニアリング　正会員　山内　誉史　荒木　健二
日本橋梁　正会員　上原　正太郎

１．はじめに

近年，既設鋼橋の疲労き裂補修工法としてエアーツールを用いた ICR(Impact Crack Closure Retrofit Treatment)工法[1)]が開発されている．この ICR 工法を応用し，き裂発生前の溶接止端部にピーニング工法を適用することで，重ねプレート隅肉溶接部の疲労耐久性が向上することは昨年報告を行ったとおりである[2)]．

本論は，鋼橋の支承ソール PL 溶接部に着目し，実橋を想定した FEM 解析，実橋の応力測定を行うことにより，昨年実施した重ねプレート部に対する上記の工法の効果を実橋レベルにて評価を行ったものである．

２．実施内容

ソール PL 近傍の局部応力性状については，解析的，実験的に研究が実施されている[3)]．既往の研究結果において，下フランジとソール PL の空隙（以下，肌隙）の有無により応力性状が大きく異なることが報告されていることから，実橋を対象とした本研究においてもその影響を考慮することとした．

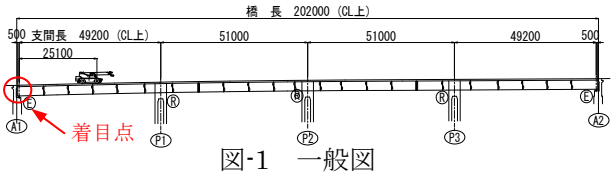


図-1　一般図

図-1 に今回の試験対象とした橋梁の一般図，表-1 に検討ケースを示す．FEM 解析，実橋応力計測ともに，A1 側端支点部に着目した．活荷重は試験車両(車両総重量 400kN)を用いて，端支点近傍，A1-P1 支間中央付近に載荷することとした．

表-1　FEM 解析・実橋応力検討ケース

ケース	載荷状態	解析・実橋計測 支承拘束条件
1	死荷重全載荷時	バネ支持
2	試験車両載荷時 (A1 支点直上)	バネ支持
3		拘束支持
4	試験車両載荷時 (A1-P1 支間中央)	バネ支持
5		拘束支持

FEM 解析は，肌隙なしと肌隙あり（1 ㎜）のケースを想定するとともに，実橋で採用されているゴム支承をモデル化したケースに加え，経年劣化により支承が機能不全に陥った場合を想定し，支承部の水平変位および回転機能を拘束したケースについても解析することとした．実橋の応力計測は，FEM 解析を実施した 5 ケース全てに対して行うこととし，解析結果との対比を実施した．なお，支承拘束支持条件を再現するため，支承側面に水平変位および回転を拘束する治具を設置して，実橋の応力計測を実施した．

３．１　FEM 解析概要

図-2 に解析モデルを示す．解析モデルは，ソール PL，上沓，着目部付近の下フランジはソリッド要素とし，それ以外の部材については，A1 側桁端部から第一横桁までをシェル要素，それ以外についてはビーム要素を用いた．また，ソール PL 溶接ビード形状については，実橋のビード形状を計測し，解析モデルに反映した．荷重は，死荷重，試験車両荷重を考慮した．なお，肌隙ありの解析については，荷重の増加に伴い接触が生じ応力伝達がなされるため，簡易的な方法として，まず肌隙が 1 ㎜の状態において死荷重の載荷を開始し，最大変位が 1 ㎜となる荷重を求めた上で，その範囲の鉛直方向を拘束し，以降の荷重載荷を実施した．

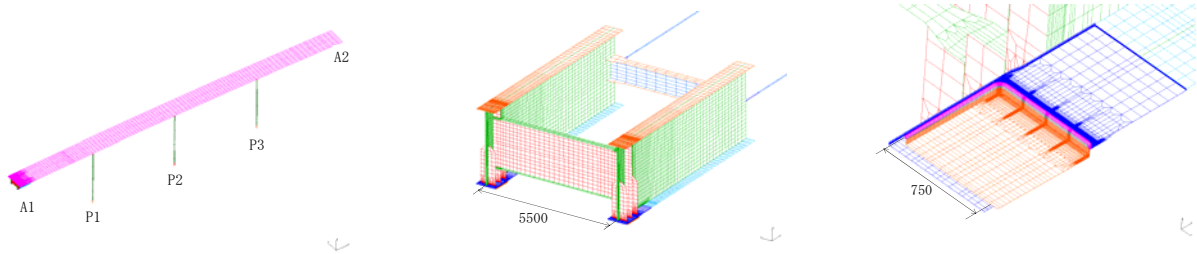


図-2　FEM 解析モデル

キーワード：ソールプレート，溶接，疲労強度，ホットスポット応力
連 絡 先　：〒914-0121　福井県敦賀市野神 12 号 60 番　中日本高速道路株式会社　敦賀工事事務所　Tel:0770-21-7905

３．２　解析結果

図-3 に死荷重時における支点部付近の下フランジの最小主応力コンター図を示す．肌隙ありのケースでは，ソール PL 縁端に沿って，高い応力が発生していることが確認できる．従って，ソール PL 溶接部ルート部付近の応力を軽減させ，ルート部から発生する疲労き裂を抑制するためには，肌隙を小さくすることが重要である．

次に文献 4)よりソール PL 溶接止端部から 0.4t, 1.0t 位置（t:下フランジ厚）の応力を直線外挿して算出したホットスポット応力を用いて，ソール PL 溶接止端部の疲労照査を実施した．なお，照査に用いた疲労等級は，過年度の疲労試験結果より F 等級(ICR を実施しない場合)とした.照査の結果，肌隙ありでかつ，支承の回転及び水平変位機能が拘束された場合に疲労照査を満足しない結果となった．この結果より，回転機能が損なわれやすい支承を用いた橋梁に対しては，溶接止端部より疲労き裂が発生する可能性があり，この対策としてピーニング処理を実施し，疲労強度を向上（F 等級→C 等級）させることが有効である．

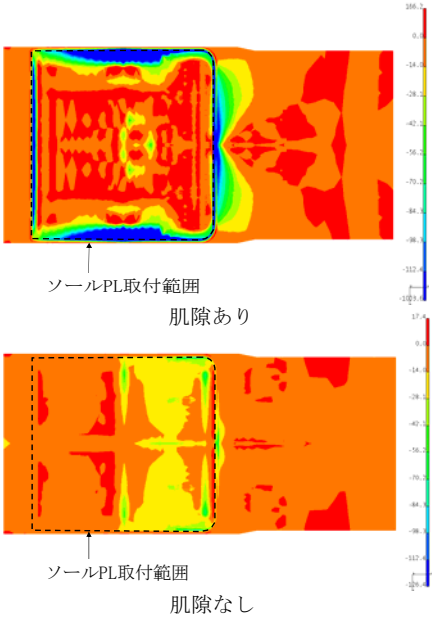


図-3　FEM 解析結果

４．実橋計測結果

応力の計測は，ソール PL 溶接止端部のホットスポット応力が求められる箇所にひずみゲージを設置し，応力の計測を実施した(図 - 4)．なお，ひずみゲージは，架設による死荷重応力についても計測できるよう，桁架設前に取り付けている．

また，実橋における下フランジとソール PL の肌隙については，架設前の計測より 0.6 ㎜程度であった．

図-5 に実橋における応力計測および解析結果を示す．

死荷重応力については，実橋の肌隙が小さいため，肌隙なしの解析値と同様の傾向を示している．

試験車両による応力については，支承の拘束条件により大きな差異があり，支承を拘束した場合，３～４倍程度の大きな圧縮応力が発生し，解析値と同様の結果となった．一方で，バネ支持の場合は非常に小さな応力となっている．応力分布ついても，解析結果と類似した傾向を示している．

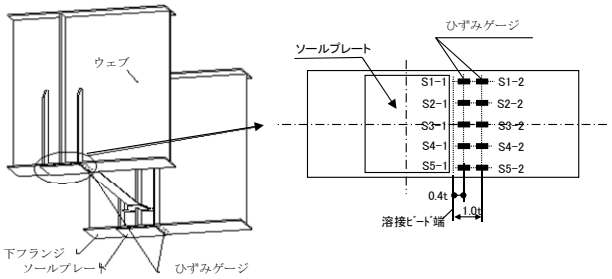
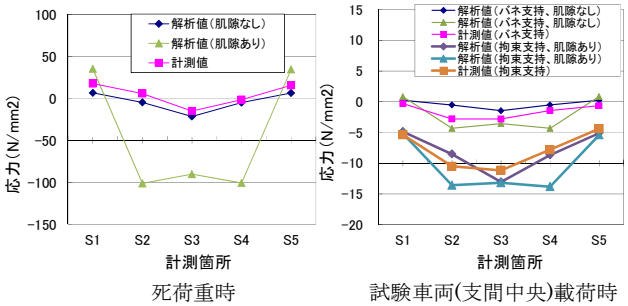


図-4　実橋における応力計測概要



死荷重時　　試験車両(支間中央)載荷時

図-5　実橋における応力計測結果(ﾎｯﾄｽﾎﾟｯﾄ応力)

５．まとめ

- 実橋におけるソール PL 溶接部近傍の発生応力について，解析及び計測結果より，支承が拘束された状態においては，非常に高い応力値を示す一方で，バネ支持においては大きく緩和されることが確認された．
- 支承が回転機能を損なうことにより，溶接止端部から発生する疲労き裂に対しては，ピーニング処理は合理的かつ有効な対策の手段であることが確認された．
- 溶接ルート部から発生する疲労き裂に対する対策の一つとして，肌隙を小さくすることが挙げられる．

参考文献

1)　山田健太郎，石川敏之，柿市拓巳：疲労き裂を閉口させて寿命を向上させる試み，土木学会論文集 A，Vol.65，No.4，pp.961-965，2009.
2)　溝上善昭，酒井修平，他：簡易なエアーツールを用いたピーニング工法の重ねプレートすみ肉溶接部の疲労試験，土木学会第 67 回年次学術講演会（平成 24 年 9 月），I-264
3)　舘石和雄，名取暢，三木千寿：プレートガーダー支承部の疲労損傷とそのディテール改良に関する研究，土木学会論文集，No.489／Ⅰ-27，pp167-176，1994.4.
4)　(社)日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説（改定案），平成 22 年 12 月